



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 38 524.6
Anmeldetag: 22. August 2002
Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH,
Regensburg/DE
Bezeichnung: Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement
IPC: H 01 L 33/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. August 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Stremme

Stremme

Beschreibung

Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement

5 Die Erfindung betrifft ein strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement mit einer Schichtstruktur, die eine n-dotierte Mantelschicht, eine p-dotierte Mantelschicht, eine zwischen der n-dotierten Mantelschicht und der p-dotierten Mantelschicht angeordnete aktive Schicht auf Basis von InGaAlP, und
10 eine zwischen der aktiven Schicht und der p-dotierten Mantelschicht angeordnete Diffusionsstoppschicht enthält.

Vorliegend zählen zu den Materialien auf der Basis von InGaAlP alle Mischkristalle mit einer Zusammensetzung, die
15 unter die Formel $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$ fällt.

Leuchtdioden auf der Basis von InGaAlP können durch Variation des Al-Anteils mit Emission in einem weiten Spektralbereich
20 von Rot bis Gelbgrün hergestellt werden. Durch die Änderung des Al-Gehalts kann die Bandlücke des InGaAlP-Systems von 1,9 eV bis 2,2 eV durchgestimmt werden.

Im Betrieb solcher Leuchtdioden beobachtet man eine Abnahme der Lichtleistung in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen. Als Hauptursache für diese Alterung wird die absichtlich eingebrachte Magnesium-Dotierung der p-Mantelschicht angesehen. Dabei kann es schon während des Epitaxieprozesses beim Aufwachsen einer GaP-Fensterschicht, die in etwa 1 bis 2
25 Stunden bei hohen Temperaturen erfolgt, zu einer Diffusion der Mg-Dotieratome entlang des Konzentrationsgradienten zur aktiven Schicht hin kommen.
30

Auch im Betrieb der Leuchtdioden kommt es zu Alterungerscheinungen.
35

Ein Ansatz, dem Alterungsproblem zu begegnen, besteht darin, die Diffusion der Mg-Dotieratome von der p-dotierten Mantelschicht in die aktive Schicht zu reduzieren. In Hinblick auf eine möglichst lange Lebensdauer der Leuchtdioden ist es wünschenswert, die Magnesium-Diffusion weitestgehend zu verhindern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement anzugeben, das verbesserte Alterungseigenschaften aufweist.

Diese Aufgabe wird durch ein strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 11.

Erfindungsgemäß ist bei einem strahlungsemittierenden Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art vorgesehen, daß eine Diffusionsstoppschicht durch ein verspanntes Übergitter gebildet ist. Es hat sich überraschend herausgestellt, daß durch ein derartiges Übergitter die Diffusion von p-Dotierstoffatomen wesentlich stärker unterdrückt wird, als bei dem Einsatz herkömmlicher Diffusionsstoppschichten.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß die Diffusionsstoppschicht durch ein alternierend tensil/kompressiv verspanntes Übergitter gebildet ist. Dies führt zu einer besonders effizienten Unterdrückung der Dotierstoff-Diffusion durch die Stoppschicht.

Insbesondere kann mit Vorteil vorgesehen sein, daß das Übergitter der Diffusionsstoppschicht aus N Perioden von tensil verspannten $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ -Schichten (mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$) und kompressiv verspannten $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ -Schichten (mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$) besteht, wobei N zwischen 2 und 40, insbesondere zwischen 5 und 20 und bevorzugt zwischen 8 und 15 liegt. In einer besonders bevorzugten

Ausgestaltung ist N beispielsweise gleich 10. Weiterhin bevorzugt weisen die Schichten des Übergitters die gleiche Zusammensetzung auf.

- 5 In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Bauelements besteht das Übergitter der Diffusionsstoppschicht aus $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{P}$ -Schichten (mit $0 < x < 1$).

10 In vorstehendem Zusammenhang hat es sich als zweckmäßig herausgestellt, wenn die Verspannung im Bereich von 0,1% bis 5%, bevorzugt im Bereich von 0,5% bis 2%, besonders bevorzugt von 0,7% bis 1% liegt.

15 Die Erfindung bietet besonders große Vorteile, wenn die p-dotierte Mantelschicht mit Magnesium p-dotiert ist.

In einer zweckmäßigen Ausführung des strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements ist die Diffusionsstoppschicht hoch n-dotiert. Bevorzugt sind beide Schichttypen des Übergitters
20 mit einer Dotierstoffkonzentration oberhalb von $0,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ versehen. Besonders bevorzugt liegt die Dotierstoffkonzentration im Bereich zwischen einschließlich 0,75 und einschließlich $1,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

25 Dabei hat sich insbesondere eine n-Dotierung mit Tellur als vorteilhaft herausgestellt. Die Tellur-Dotierungsspitze, die durch das Übergitter gepinnt wird, dient dann als wirkungsvoller Diffusionsstopp für die p-Dotierstoffatome.

30 In einer bevorzugten Ausgestaltung ist auf der obersten Mantelschicht der Schichtstruktur eine transparente Auskoppelschicht angeordnet. Insbesondere kann die transparente Auskoppelschicht im wesentlichen aus GaP bestehen. Diese Auskoppelschicht wird typischerweise unter Verwendung von Phosphin
35 (PH_3) für ein bis zwei Stunden bei einer Temperatur oberhalb von 800 °C epitaktisch abgeschieden. Die erforderlichen hohen

Temperaturen begünstigen die Diffusion von Dotierstoffatomen aus der p-dotierten Mantelschicht in die aktive Schicht.

Die aktive Schicht kann beispielsweise durch einen p-n-Übergang, einen Quantentopf oder einen Mehrfachquantentopf gebildet sein.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung des Ausführungsbeispiels und der Zeichnung.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert. Es sind jeweils nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Dabei zeigt

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Schnittansicht eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

20

Figur 2 ein Detail der Darstellung von Figur 1.

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Schnittansicht einer allgemein mit 10 bezeichneten InGaAlP-Leuchtdiode nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Dabei sind in der schematischen Darstellung der Figur 1 nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Schichten dargestellt. Es versteht sich jedoch, daß weitere Schicht, wie etwa Pufferschichten, Zwischenschichten, Rampen und dergleichen ebenfalls vorhanden sein können.

30

Bei der InGaAlP-Leuchtdiode 10 ist auf ein Si-dotiertes GaAs-Substrat 12 eine Schichtfolge auf InGaAlP-Basis aufgewachsen, die eine n-dotierte Mantelschicht 18, eine aktive Schicht 14 und eine mit Magnesium p-dotierte Mantelschicht 20 enthält. Auf die p-Mantelschicht 20 wurde noch während des Epitaxie-

35

prozesses bei 840 - 860 °C in ein bis zwei Stunden eine GaP-Fensterschicht 22 aufgewachsen.

Um die Diffusion von Mg-Dotieratomen aus der p-Mantelschicht 20 in die aktive Schicht 14 zu unterdrücken, die ansonsten bei den hohen Wachstumstemperaturen für die GaP-Fensterschicht 22 auftritt, ist zwischen der aktiven Schicht 14 und der p-Mantelschicht 20 eine Diffusionsstoppschicht 16 eingebracht. Die Diffusionsstoppschicht 16 besteht im Ausführungsbeispiel aus einem hoch n-dotierten verspannten Übergitter.

Wie am besten in der Darstellung der Figur 2 zu erkennen, besteht das Übergitter der Diffusionsstoppschicht 16 aus einer alternierenden Abfolge von 4 nm dicken, tensil verspannten InAlP-Schichten 16a und ebenfalls 4 nm dicken, kompressiv verspannten InAlP-Schichten 16b. Im Ausführungsbeispiel enthält das Übergitter $N = 10$ derartige Schichtenpaare 16a, 16b.

Die Punkte ober- und unterhalb der Schichten in Figur 2 deuten an, daß die alternierende Abfolge mehr als die sechs gezeigten Schichten enthält. Der Grad der Verspannung ist im konkreten Ausführungsbeispiel für bei beiden Schichttypen jeweils zu 0,8% gewählt.

Beide Schichttypen sind mit Tellur bei einer Dotierstoffkonzentration von 0,75 bis $1,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ hoch n-dotiert. Die Tellur-Dotierstoffspitze, die durch das Übergitter gepinnt wird, wirkt dann als effektiver Diffusionsstop für die Magnesium-Dotieratome aus der p-Mantelschicht 20.

Um die Wirkung der erfindungsgemäßen Diffusionsstoppschicht zu überprüfen, wurden SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) Tiefenprofile einer erfindungsgemäßen Leuchtdiode 10 und einer Vergleichs-Leuchtdiode ohne Diffusionsstoppschicht aufgenommen. Die eingestellte Mg-Dotierstoffkonzentration der p-Mantelschicht ist dabei in beiden Fällen gleich groß und beträgt etwa $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

Bei der Vergleichs-Leuchtdiode findet sich, ausgehend von der p-Mantelschicht eine nur flach abfallende und damit weit in die lichterzeugenden Schichten hineinragende Magnesium-Konzentration oberhalb von $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

5

Demgegenüber wird die Diffusion der Mg-Atome durch das Einbringen der beschriebenen Diffusionsstoppschicht 16 in diesem Bereich wirkungsvoll gestoppt und ein weiteres Vordringen unterdrückt. Bei der erfindungsgemäßen Leuchtdiode liegt die

10

Mg-Konzentration im Bereich der lichterzeugenden Schichten 14 unterhalb von $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, und damit bei einem Wert, der für das Altersverhalten der Leuchtdiode unkritisch ist.

15

Es versteht sich, daß die in der vorstehenden Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein können.

Patentansprüche

1. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement mit einer
5 Schichtstruktur, die
- eine n-dotierte Mantelschicht (18),
- eine p-dotierte Mantelschicht (20),
- eine zwischen der n-dotierten Mantelschicht (18) und der p-dotierten Mantelschicht (20) angeordnete aktive Schicht (14)
10 auf Basis von InGaAlP, und
- eine zwischen der aktiven Schicht (14) und der p-dotierten Mantelschicht (20) angeordnete Diffusionsstoppschicht (16) enthält,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
15 - die Diffusionsstoppschicht (16) ein verspanntes Übergitter aufweist.

2. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
20 die Diffusionsstoppschicht (16) ein alternierend tensil/kompressiv verspanntes Übergitter aufweist.

3. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
25 das Übergitter der Diffusionsstoppschicht (16) N Perioden von tensil verspannten $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ -Schichten (16a) mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$ und kompressiv verspannten $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ -Schichten (16b) mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$ aufweist, wobei N zwischen 2 und 40, bevorzugt zwischen 5 und
30 20, besonders bevorzugt zwischen 8 und 15 liegt.

4. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
das Übergitter der Diffusionsstoppschicht (16) aus InAlP-
35 Schichten besteht.

5. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Verspannung im Bereich von 0,1% bis 5%, bevorzugt im Bereich von 0,5% bis 2%, besonders bevorzugt im Bereich von 0,7% bis 1% liegt.

6. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die p-dotierte Mantelschicht (20) mit Magnesium p-dotiert ist.

7. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Diffusionsstoppschicht (16) hoch n-dotiert ist.

8. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Diffusionsstoppschicht (16) mit Tellur n-dotiert ist.

9. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
die n-Dotierstoffkonzentration oberhalb von $0,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ liegt, insbesondere zwischen einschließlich $0,75$ und einschließlich $1,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ liegt.

10. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
auf der obersten Mantelschicht (20) der Schichtstruktur eine transparente Auskoppelschicht (22) angeordnet ist, die bevorzugt im wesentlichen aus GaP besteht.

11. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem
der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
die aktive Schicht (14) einen p-n-Übergang, einen Quantentopf
5 oder einen Mehrfachquantentopf aufweist.

Zusammenfassung

Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement

- 5 Bei einem strahlungsemittierenden Halbleiterbauelement mit einer Schichtstruktur, die eine n-dotierte Mantelschicht (18), eine p-dotierte Mantelschicht (20), eine zwischen der n-dotierten Mantelschicht (18) und der p-dotierten Mantelschicht (20) angeordnete aktive Schicht (14) auf Basis von
- 10 InGaAlP, und eine zwischen der aktiven Schicht (14) und der p-dotierten Mantelschicht (20) angeordnete Diffusionsstoppschicht (16) enthält, ist die Diffusionsstoppschicht (16) erfindungsgemäß durch ein gespanntes Übergitter gebildet.

15 Figur 1

10 →

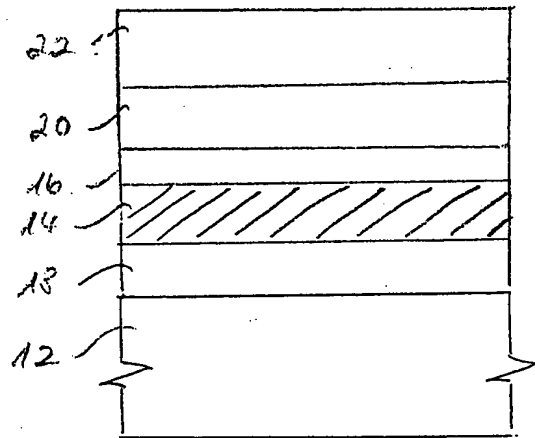


Fig. 1

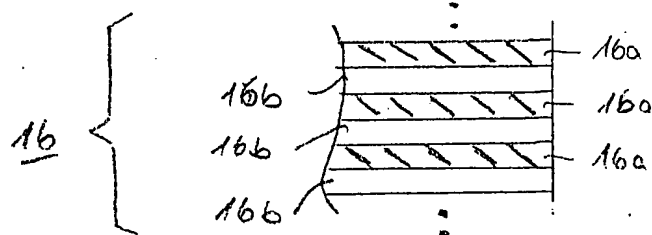


Fig. 2